

厳密結合波理論 (RCWA) によるサブ波長格子の解析

長吉 真弓¹, 岡 恵子^{1, 3}, 駒井 友紀¹,
クラウス・ヴェルナー², 小館香椎子¹

¹日本女子大学理学研究科 数理・物性構造科学専攻

²独立行政法人 情報通信研究機構 無線通信部門 光宇宙通信グループ

³現 株式会社 日立製作所 生産技術研究所

(2005年11月30日受理)

要 旨 リソグラフィやエッチング等の半導体微細加工技術の進展に伴い、入射波長以下の周期構造を持つ微細光学素子 (サブ波長格子) の高精度な作製が可能となってきた。微細な三角形状格子には反射防止機能があることが古くから知られており、光デバイスや高輝度ディスプレイ等に適用することで光の反射損失を抑制し、機能向上に貢献すると考えられている。従来より多く用いられてきた AR (Anti Reflection) コートに比べ、光デバイスの基板に直接反射防止構造を施すことで、低コスト化や作製の容易さ等の利点がある。そこで本稿では、反射防止構造を持つ 1 次元サブ波長格子の反射・透過特性の解析を行った。入射波長に対して微細周期構造を持つ素子の特性解析に適する厳密結合波解析 (RCWA) により、次世代光ディスクの記録・読み出しに用いる青紫色半導体レーザ光の波長 405 nm を入射させた場合のサブ波長格子の基礎特性について明らかにした。

キーワード：サブ波長格子，ナノメートルオーダー，反射防止構造，厳密結合波解析 (Rigorous Coupled Wave Analysis : RCWA)

1. はじめに

近年の微細加工技術の発達により、ナノメートルオーダーの精度の加工が可能となり、光の波長よりも短い周期構造を持つサブ波長格子が作製されてきている。サブ波長格子は簡単な断面形状により光学的異方性や屈折率分布を材質に持たせることができ、0 次光以外の回折光が発生せず高効率を得られるという特徴があり、これまでに反射防止構造¹⁻⁵⁾や偏光素子⁶⁻⁹⁾、波長選択フィルタ^{10, 11)}などの多機能な光学素子が提案されてきている。特にサブ波長格子による反射防止効果は、1967年に C.G. Bernhard によって、蛾の目の表面に形成されているサブミクロンオーダーの大きさの凹凸構造の反射率を測定することにより発見された¹²⁾。光学素子表面のフレネル反射を低減するために、従来、光学製品に使われる光デバイスの大半に AR (Anti Reflection) コート (反射防止膜) が用いられてきた。しかし AR コーティングは使用波面用に最適な材料が限定されることより光学素子基

板に合う材料の選定が困難であり、反射防止としての役割を果たすための適用波長・入射角度が狭い等の課題が多い。そこで加工技術の微細化に向けた進展に伴い、光デバイスの基板に直接サブ波長の反射防止構造を施す方法が注目されてきている。

本論文では、次世代光ディスクの記録・読み出しに用いるピックアップレンズへの反射防止構造の適用を目指し、サブ波長格子による反射防止構造の基礎特性の解明を目的とした。第 2 章で反射防止構造について述べ、第 3 章で我々のグループで開発した厳密結合波解析 RCWA (Rigorous Coupled Wave Analysis) プログラム¹³⁻¹⁷⁾の理論について述べる。第 4 章では RCWA を用いた 1 次元サブ波長格子の光学的な基礎特性の解析結果について述べ、第 5 章でまとめとする。

2. 反射防止構造

光が光学素子に入射する際には、素子表面でのフレネル反射によりエネルギー損失が生じる。例えば屈折率 n_1 から屈折率 n_2 の媒体へ入射するときには、(1) 式で表されるような強度の反射が発生する。

$$R = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2} \quad (1)$$

ガラス基板 ($n_g=1.5$) に光を垂直入射させた場合、反射率は空気とガラスの界面で片面約 4 % となる。さらに材質の屈折率が高い場合には反射損失は非常に大きくなり、空気とシリコンの界面では片面約 25 % にもなる。特に近年開発されてきている大容量光ディスク記録のためには数 % の効率低下も大きな問題となり、ピックアップ光学系の反射損失を抑えることで、LD の駆動電流・発熱を抑え、高性能化が期待できる。

AR (Anti Reflection) コートとは、可視波長域でのフレネル反射を低減するために、光学素子の表面にフッ化マグネシウムなどの屈折率の異なる層を真空蒸着させて作る透明な薄膜であり、Fig. 1 に示すように、光の干

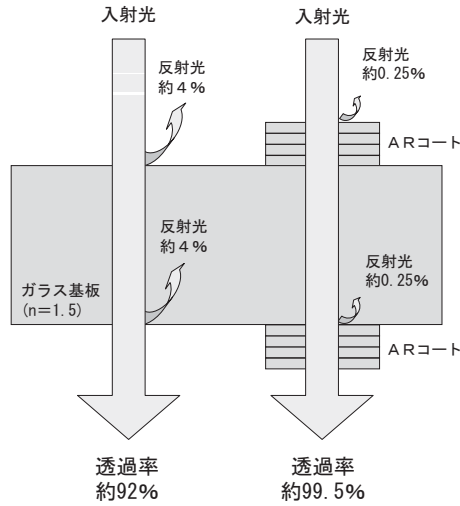


Fig. 1. The principle of anti reflection using AR coat.

渉を利用して照明等による外光を打ち消すものである。光学製品に使われる光デバイスの大半には AR コートが施されている。膜の薄さは可視光の $\lambda/4$ となっており、光が入射すると、膜の表面で反射する光と、透過して奥で反射する光に分かれ、両者が $\lambda/2$ ずれた逆位相となるため、打ち消し合って反射光が目立たなくなる。これにより、光の高利用効率や迷光除去などの効果がある。しかし、反射防止膜として適当な屈折率を持つ物質が制限されている、適用波長・入射角度が狭い等の課題が多い。また、簡単な AR コートでも単層では不足であり、3 ~ 5 層の複合膜が必要となる。

これらの課題を解決するものとして、光デバイスの基板に直接反射防止構造を施す方法がある。反射防止構造は、広い波長域と入射角度に対して反射率を低く抑えることができ、基板以外の他の材料を必要とせず多くの光学素子材質に適用することができるという利点があり、低コスト化が期待できる。Fig. 2 にサブ波長格子による反射防止の原理と有効屈折率分布を示す。三角形のサブ波長格子の先端から根本にかけて、周囲の媒質と格子媒質の体積占有率が徐々に変化するため、屈折率分布の変化量は、 n_1 から n_2 にかけてなだらかとなる。光の反射は主に屈折率の急激な変化により生じるので、連続的な屈折率変化に対して、光はほとんど反射されない。したがって、界面での屈折率差を滑らかにして反射を抑えるためには、高アスペクト比の構造を持つ素子を作製する必要がある。反射防止効果を持つサブ波長格子の形状は、格子周期を Λ 、入射波長を λ 、基板の屈折率を n_2 として、(2) 式のように表すことができる。

$$\Lambda < \frac{\lambda}{n_2} \quad (2)$$

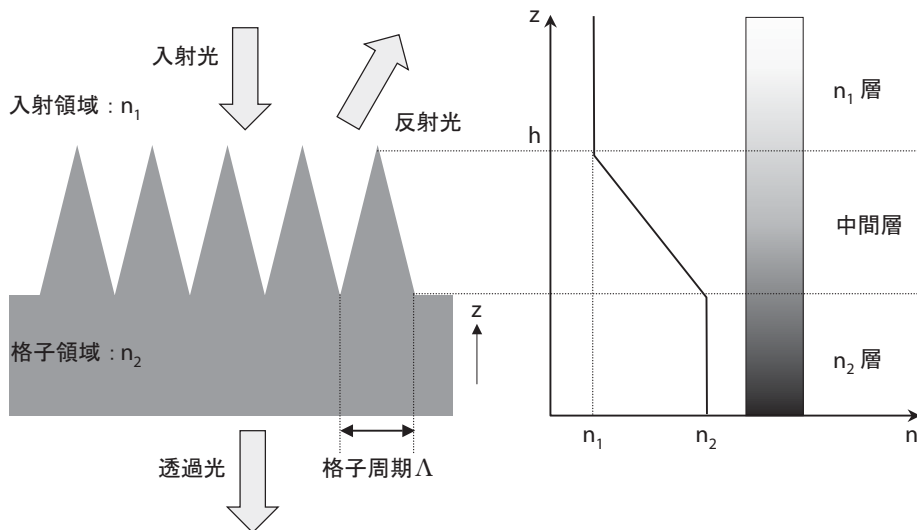


Fig. 2. The principle of anti reflection using optical element with subwavelength and distribution of effective refractive index.

しかし、反射防止構造を有する製品は、安定性・製造コストなどの面から、実用に至るものが少ない。平面上であればリソグラフィ技術を用いてパターンニングすることは可能であり、例えばLED^{18, 19)}への応用が報告されているが、曲面上においては、コスト以上に作製が困難である。今回はこれらの問題の解決を目指して、平面構造を持つ1次元透過型サブ波長格子の基礎特性の解析を行った。

3. 厳密結合波解析 (Rigorous coupled wave analysis : RCWA) 理論

光学素子の解析理論は、光線追跡 (幾何光学)、スカラー解析理論 (波動光学)、電磁波解析理論 (電磁波光学) の3つに分類できる。格子周期が入射波長より十分大きく、格子の厚みが十分小さいときには、スカラー波近似の理論が成り立つことが知られている。スカラー波理論は複素透過率分布近似の手法を用いている。これは、複素屈折率 \times 深さに相当する複素透過率分布を持った振幅・位相フィルタのように考える方法である。

しかし格子周期が 10λ 以下になったとき、スカラー波近似理論は破綻し、電場・磁場がベクトル場であることを留意した厳密な取り扱いを行わなければならない。さらに格子周期が 0.1λ 以下程度に小さくなった場合には、格子の平均構造が主に問題となるようになり、有効媒質法 (Effective medium theory : EMT)^{20, 21)}を適用する必要がある。

また、格子の厚みが $Q \leq 1$ ($Q = 2\pi\lambda D / n\Lambda^2$) のとき、薄い格子と呼ばれ、複素透過率分布近似が有効となる。一方、 $Q \geq 10$ の格子は厚い格子と呼ばれる。 $1 \leq Q \leq 10$ となる格子に対しては適当な近似理論がなく、厳密な電磁波解析理論が必要となる。

無限周期構造を持つ回折格子による電磁波の回折問題は、マクスウェル・ヘルムホルツ方程式の境界値問題として定式化できる^{22, 23)}。この問題には解析的な厳密解は存在しないため、数値的な手法を用いる必要がある。これまでに提案されてきた電磁波解析理論には、モード展開法^{22, 24)}、積分法²⁵⁻²⁷⁾、微分法²⁸⁻³⁰⁾、有限差分時間領域法³¹⁻³⁵⁾などがある。1980年代初めに M.G. Moharam と T.K. Gaylord によって提案された微分法の1つである厳密結合波解析 (Rigorous Coupled Wave Analysis : RCWA) 理論³⁶⁻³⁸⁾では、素子を深さ方向へL枚の層に分割し、各層を誘電率分布として表示させ、回折効率や強度分布等を算出する。具体的には次のような2段階の手順で計算を行う。

①回折格子を深さ方向にスライスし、各層における結合波方程式を作り、これを解く。これにより、各層において、固有な「モード」の線形結合として、電磁波の

一般解を表すことができる。また、入射・反射領域、透過領域においても、固有なモードとその線形結合である一般解を求めておく。

②電磁場に対する境界条件を、入射・反射領域-第1 (回折格子) 層間、第1層-第2層間、..., 最終層-透過領域間に課す。これにより、全領域にわたって「モード」の係数間の比が一意的に決まるため、全領域での電磁波の状態を知ることができる。この結果から、強度分布や回折効率などの計算が可能となる。

以上の手法により、RCWAは連続的なレリーフ形状を持つような格子を含めた多くの格子に適用可能であり、1層1層に分割するため、階段状に近似した矩形の断面構造を持つマルチレベル光学素子³⁹⁾やVPHグレーティングなどの屈折率変調格子⁴⁰⁾に対して特に有効である。サブ波長領域では、格子構造により反射・透過特性は偏光に依存するため、今回、我々のグループで開発した数値解析プログラム¹³⁻¹⁷⁾を用い、1次元サブ波長格子の解析を行った。

4. RCWAによる1次元サブ波長格子の基礎特性の解析

Fig. 3に示すように、光の入射面をxz平面とし、xy平面に平行で、x方向にのみ周期 Λ を持つy方向に一樣な1次元透過型サブ波長格子に、直線偏光を持つ平面波が入射したときの回折波の振る舞いを厳密結合波解析 (RCWA) により導出する。ここでは周期格子の溝方向と入射面が直交するノンコニカル・マウンティングの場合について述べる。入射光の電場が回折格子の溝方向と平行であるTE (Transverse Electric) モード、入射光の磁場が回折格子の溝方向と平行であるTM (Transverse Magnetic) モードの偏光条件を考慮し、二等辺三角形形状を持つサブ波長格子における透過率の波長規格化周期依存性、アスペクト比依存性、入射波長依存性、入射角度

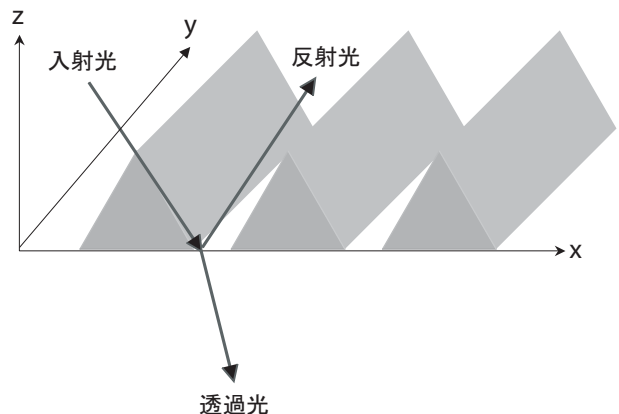


Fig. 3. Optical element with a 1-D triangular subwavelength profile.

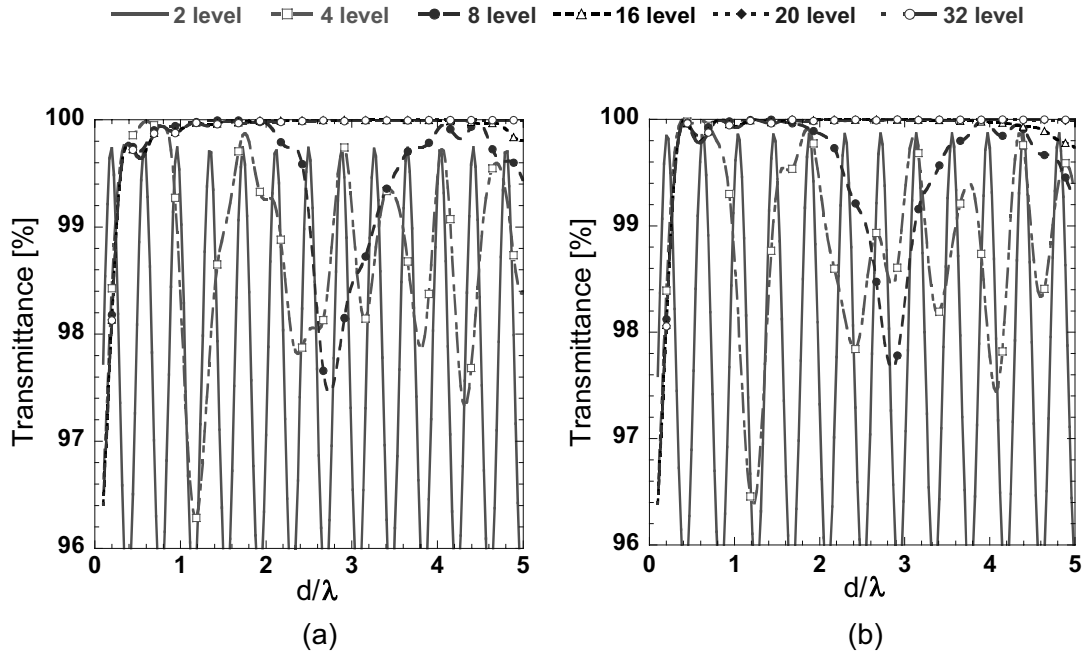


Fig. 4. The number of division of the depth direction and stability of calculation (light is incident from the air, $n=1.53$, $\lambda=405\text{nm}$, (a) TE, (b) TM).

依存性について数値計算を行った。格子基板には透明樹脂 (屈折率 1.53 @ 486.1nm) を用いた。使用した UNIX の機種は Sun Ultra60 (Clock 330MHz, UltraSPARC-II I) である。現在開発されている AR コートを用いると約 99.5% の透過率が得られるため、今回は設計波長において 99.5% 以上の透過率を得ること、また $0^\circ \sim 60^\circ$ の入射角度において、広い入射角度で高い透過率を得ることを条件とし、解析を行った。

4.1 格子構造の層の分割数の最適化

RCWA では、格子構造を高さ方向の層に分割して、各層におけるマクスウェル方程式を解くことにより、回折効率 (透過率) を算出する。そのためテーパ状の格子をマルチレベル格子に近似して解析することが可能である。テーパ状の格子の入射波長に対する突起高さに対して、RCWA で計算を行うための層への分割数について、設計波長を青紫色半導体レーザの $\lambda=405\text{nm}$ とし、レベル数を 2, 4, 8, 16, 20, 32 level について検討を行った。Fig. 4 に示すように、TE・TM モードともに波長に対する突起高さが $h/\lambda \leq 5$ では 20 level 以上で計算が安定することを確認した。32 level で 99.5% 以上の透過率を得るためには、波長に対する突起高さが $h/\lambda \geq 0.321$ である必要があり、波長 $\lambda=405\text{nm}$ の場合、突起高さ $h \geq 130\text{nm}$ となる。以下の計算は突起高さ h を 32 level に分割して行った。

4.2 波長規格化周期依存性

はじめに透過率の波長規格化周期依存性に関する数値計算を行った。Fig. 5 に、突起高さを変化させ、素子に空気側から光を垂直入射させたときの TE・TM モードの透過率を示す。屈折率 $n_2=1.53$ を持つ素子基板に反射防止効果を持たせるためには、(2) 式より、 $\Lambda < 270\text{nm}$ とする必要がある。これを Fig. 5 (a), (b) より、波長規格化周期が $\Lambda/\lambda \geq 0.6$ で回折光 (−1 次光) が発生して 0 次光の透過率が低くなることから確認した。また波長規格化周期が $\Lambda/\lambda < 0.6$ では突起の高さが高くなる (高アスペクト比になる) ほど透過率が高くなることを確認した。そこで、格子周期 $\Lambda=200\text{nm}$, 150nm , 100nm の 3 つの場合について基礎特性の検討を行った。

4.3 アスペクト比依存性

格子周期 $\Lambda=200\text{nm}$, 150nm , 100nm の反射防止構造と、反射防止構造がない場合の空気側入射のアスペクト比に依存した透過率を Fig. 6 に示す。格子周期 200nm の場合はアスペクト比 1.6 または 2 のとき、格子周期 150nm の場合はアスペクト比 3 のとき、格子周期 150nm の場合はアスペクト比 3 のときにそれぞれ 99.9% 以上の透過率が得られ、反射防止構造がない場合に比べて透過率が約 4.4% 向上する。そこでこれらの 4 つの場合について波長依存性の解析を行った。

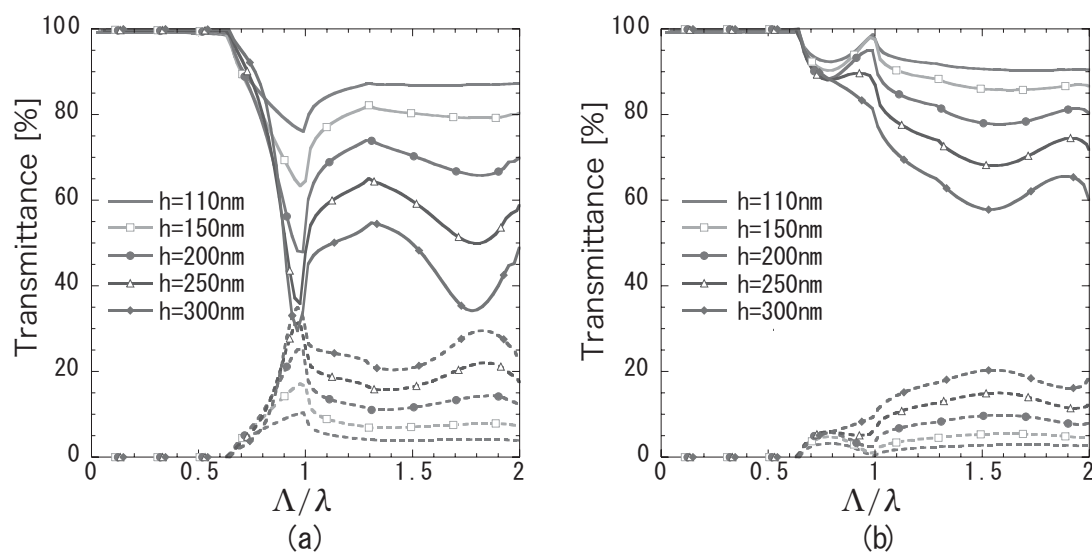


Fig. 5. Dependent on the normalized period for the transmittance of the optical element with subwavelength (light is incident from the air, $n=1.53$, $\lambda=405\text{nm}$, solid line is 0th order, dashed line is -1st order, (a) TE, (b) TM).

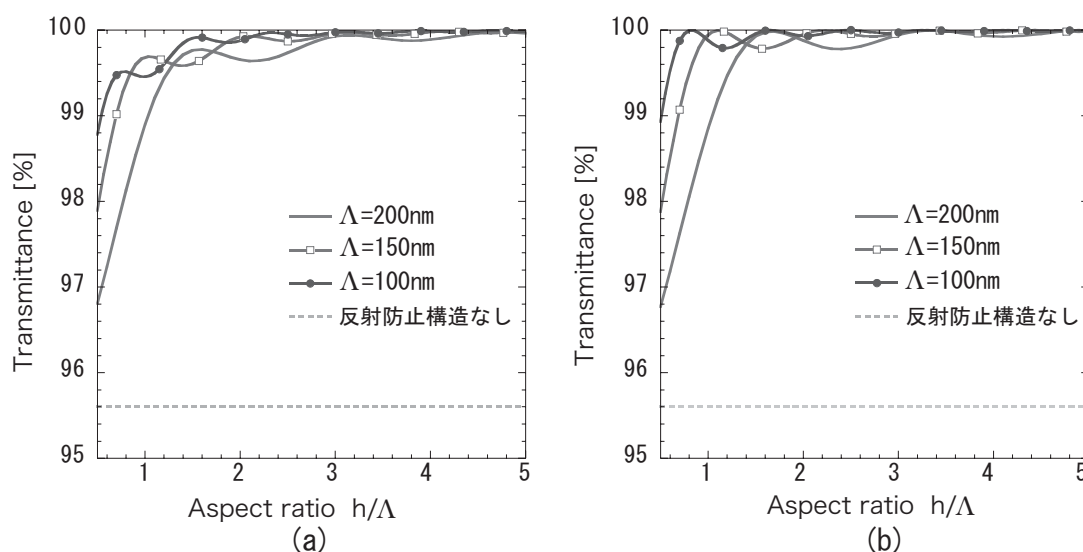


Fig. 6. Dependent on the aspect ratio for the transmittance of the optical element with subwavelength (light is incident from the air, $n=1.53$, $\lambda=405\text{nm}$, (a) TE, (b) TM).

4.4 波長依存性

Fig. 7 に (a) 格子周期 $\Lambda=200\text{nm}$, 突起高さ $h=320\text{nm}$ (アスペクト比 1.6) および (b) 格子周期 $\Lambda=200\text{nm}$, 突起高さ $h=400\text{nm}$ (アスペクト比 2), (c) 格子周期 $\Lambda=150\text{nm}$, 突起高さ $h=450\text{nm}$ (アスペクト比 3), (d) 格子周期 $\Lambda=100\text{nm}$, 突起高さ $h=310\text{nm}$ (アスペクト比 3.1) の場合の空気側入射の波長依存性の解析結果を示す。それぞれ設計波長 $\lambda=405\text{nm}$ において, TE

モード, TM モードとも 99.9% の透過率が得られた。

4.5 入射角度依存性

今回, 曲面上への反射防止構造の適用を目指しているため, 反射防止構造を素子基板に垂直に施し, 光が斜入射した場合の透過率について解析を行った。 $0^\circ \sim 60^\circ$ まで入射角度を変化させて算出した透過率を Fig. 8 に示す。格子周期 200nm (波長規格化周期 $\Lambda/\lambda=0.5$) では,

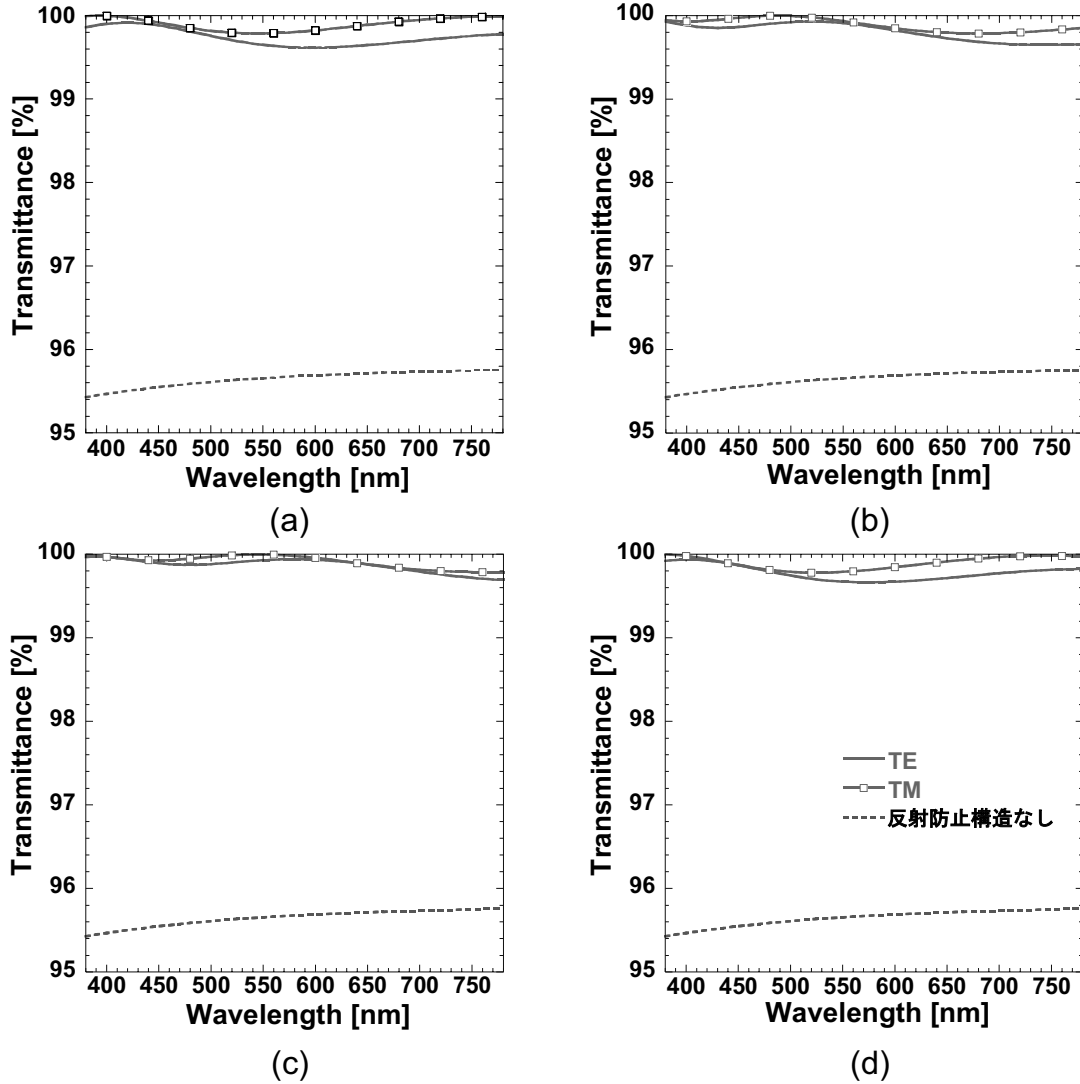


Fig. 7. Dependent on the wavelength for the transmittance of the optical element with subwavelength (light is incident from the air, $n=1.53$, $\lambda=405\text{nm}$, (a) the period is 200nm , the height is 320nm , (b) the period is 200nm , the height is 400nm , (c) The period is 150nm , the height is 450nm , (d) the period is 100nm , the height is 310nm).

TE モード・TM モードともに 30° 入射以上で回折光の出現が認められ、0 次光の透過率が、反射防止構造がない場合よりも低下した。また 99.5% 以上得られる入射角度は 0° までであり、 60° 入射で TE モードでは 56.8% 、TM モードでは 84.0% となることを確認した。一方、格子周期 100nm (波長規格化周期 $\Lambda/\lambda=0.25$) では回折光が存在せず、 99.5% 以上得られる入射角度が 40° までであり、 60° 入射でも TE モードでは 96.4% 、TM モードでは 99.4% となり、斜入射に対して許容範囲が広いことを確認した。

TM モードでは (3) 式で与えられるブリュースター角 θ_B ($n_1=1.0$, $n_2=1.53$ の場合 $\theta_B=56.8^\circ$) が存在し、 θ_B 入射において、反射防止構造を施さない場合の理論

的な透過率は 100% となることを、(b), (d) の場合について確認した。

$$\tan \theta_B = \frac{n_2}{n_1} \quad (3)$$

5. ま と め

波長以下の微細な周期構造を持つ 1 次元透過型サブ波長格子の設計を行うために、厳密結合波解析理論を用いたプログラムにより、入射波長に対する突起高さ依存性、アスペクト比依存性、波長依存性、入射角度依存性について、偏光条件 (TE モード・TM モード) を考慮して

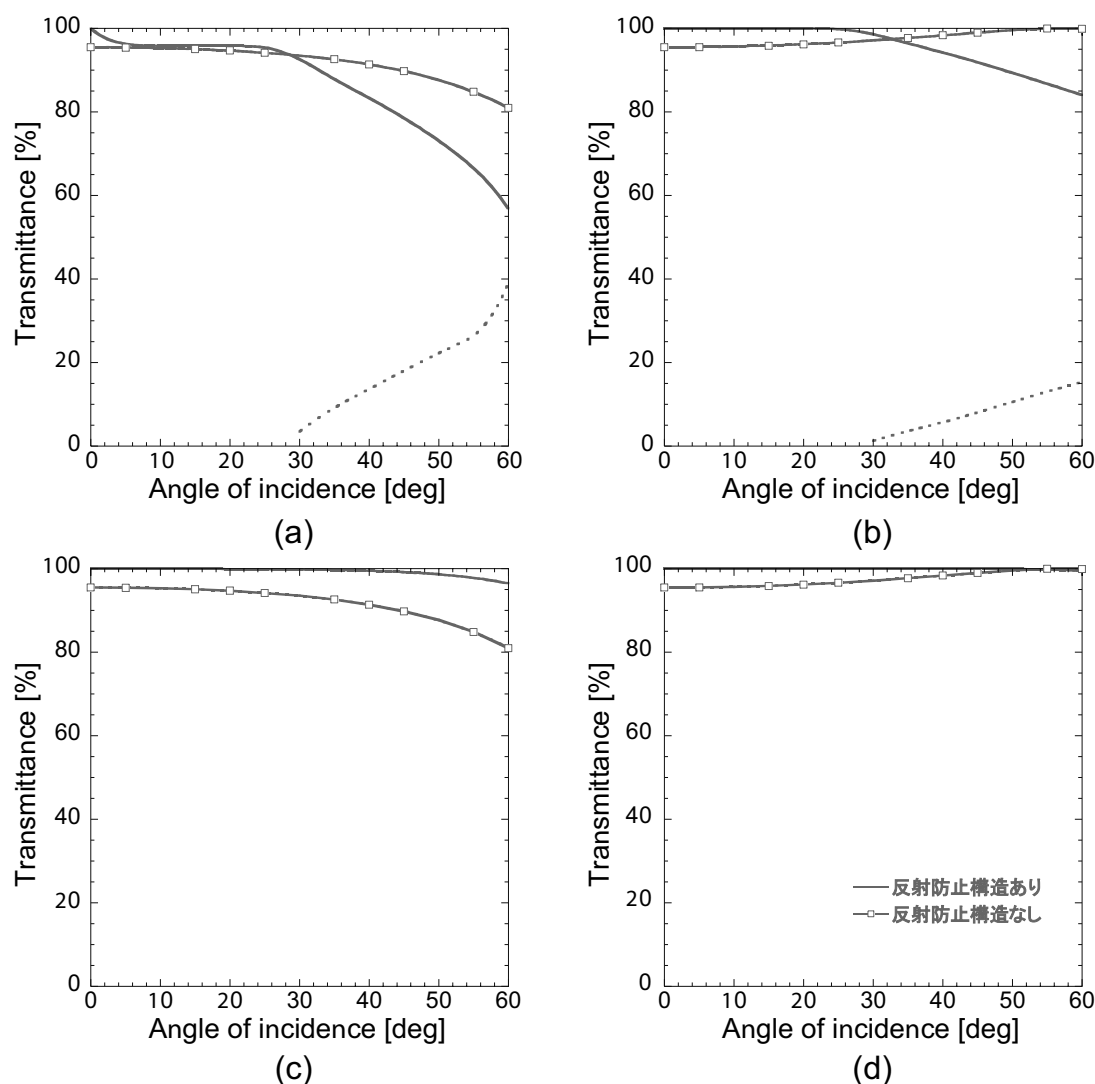


Fig. 8. Dependent on the incident angle for the transmittance of the optical element with subwavelength (light is incident from the air, $n=1.53$, $\lambda=405\text{nm}$, solid line is 0th order, dashed line is -1st order, (a) the period is 200nm, the height is 320nm, TE, (b) the period is 200nm, the height is 320nm, TM, (c) the period is 100nm, the height is 310nm, TE, (d) the period is 100nm, the height is 310nm, TM).

検討を加え、透過率99.5%以上を得られる格子形状の設計を行った。その結果、波長規格化周期が $\Lambda/\lambda=0.25$ となる格子周期 $\Lambda=100\text{nm}$ 、突起高さ310nmにおいて、設計波長 $\lambda=405\text{nm}$ でTEモードでは96.4%、TMモードでは99.4%の透過率が得られ、さらに斜入射に対する許容範囲は $0^\circ\sim40^\circ$ 入射と広いことを確認した。今回は平面基板上に反射防止構造を適用した場合について解析を行ったが、今後は曲面基板上に施したサブ波長格子について基礎特性の解析を行い、さらにRCWAを用いて2次元サブ波長格子の検討へと拡張していく予定である。

参考文献

- 1) Daniel H. Raguin and G. Michael Morris: *Appl. Opt.* **32**, 2582 (1993).
- 2) Daniel H. Raguin and G. Michael Morris: *Appl. Opt.* **32**, 1154 (1993).
- 3) Fredrik Nikolajeff, Björn Lfving, Mathias Johansson, Jrgen Bengtsson, Sverker Hrd, and Claus Heine: *Appl. Opt.* **39**, 4842 (2000).
- 4) H. Toyota, K. Takahara, M. Okano, T. Yotsuya, and H. Kikuta: *Jpn. J. Appl. Phys.* **40**, L747 (2001).
- 5) Hiroyuki Ichikawa: *J. Mod. Opt.* **49**, 1893 (2002).
- 6) Ko-Wei Chien and Han-Ping D. Shieh: *Appl. Opt.* **43**,

- 1830 (2004).
- 7) Francois Flory, Ludovic Escoubas and Basile Lazarides: *Appl. Opt.* **41**, 3332 (2002).
- 8) Panfilo C. Deguzman and Gregory P. Nordin: *Appl. Opt.* **40**, 5731 (2001).
- 9) Wanji Yu, Koji Takahara, Tsuyoshi Konishi, Tsutomu Yotsuya and Yoshiki Ichioka: *Appl. Opt.* **39**, 3531 (2000).
- 10) A. Mizutani, H. Kikuta and K. Iwata: *Opt. Review* **10**, 13 (2003).
- 11) D. Rosenblatt, A. Sharon and A.A. Friesem: *IEEE J. Quantum Electronics* **33**, 2038 (1997).
- 12) C.G. Bernhard: *Endeavour* **26**, 79 (1967).
- 13) K. Oka, W. Klaus, M. Fujino and K. Kodate: *Proceedings 10th Microoptics Conference (Jena)*, F-7. pdf (2004).
- 14) W. Klaus, K. Oka, M. Fujino and K. Kodate: *Opt. Review* **8**, 271 (2001).
- 15) 岡 恵子, クラウス・ヴェルナー, 小館香椎子: 日本女子大学理学部紀要 **10**, 99 (2002).
- 16) 小館香椎子 監訳: デジタル回折光学 丸善 (2005).
- 17) 小館香椎子: 日本女子大学理学部紀要 **10**, 7 (2002).
- 18) Masahiro Ishimori, Yoshiaki Kanamori, Minoru Sasaki and Kazuhiro Hane: *Jpn. J. Appl. Phys.* **41**, 4346 (2002).
- 19) 金森義明, 羽根一博: *O Plus E* **24**, 53 (2002).
- 20) W. Thornburg: *J. Biophys. Biochem. Cytol* **3**, 413 (1957).
- 21) M. Born and E. Wolf: *Principles of Optics* (Pergamon, London, 1980) 705.
- 22) R. Petit (ed.): *Springer-Verlag*, Berlin (1980).
- 23) 松田豊稔, 奥野洋一: 光学 **27**, 626 (1998).
- 24) Lord Rayleigh (J.W. Strutt): *Proc. R. Soc. London A* **79**, 399 (1907).
- 25) R. Petit: *Nouv. Rev. Opt.* **6**, 129 (1975).
- 26) R.B. Green: *IEEE Trans. Microwave Theory Technol.* **MTT-18**, 313 (1970).
- 27) K.A. Zaki and A.R. Neureuther: *IEEE Trans. Antennas Propag.* **AP-19**, 208 747 (1971).
- 28) E. Popov *et al.*: *J. Opt. Soc. Am. A* **19**, 33 (2002).
- 29) K. Watanabe, R. Petit and M. Neviere: *J. Opt. Soc. Am. A* **19**, 325 (2002).
- 30) K. Watanabe: *J. Opt. Soc. Am. A* **19**, 2245 (2002).
- 31) K.S. Yee: *IEEE Trans. Antennas Propag.* **AP-14**, 302 (1966).
- 32) C.H. Chan, S.H. Lou, L. Tsang and J.A. Kong: *Microwave Opt. Tech. Lett.* **4**, 355 (1991).
- 33) M.E. Veysoglu, R.T. Shin and J.A. Kong: *J. Electromag. Waves Appl.* **7**, 1595 (1993).
- 34) P. Harms, R. Mittra and W.K. Ko: *IEEE Trans. Antennas Propag.* **AP-42**, 1317 (1994).
- 35) H. Ichikawa: *J. Opt. Soc. Am. A* **15**, 152 (1998).
- 36) M.G. Moharam and T.K. Gaylord: *J. Opt. Soc. Am.* **72**, 1385 (1982).
- 37) M.G. Moharam, Eric B. Grann, Drew A. Pommet and T.K. Gaylord: *J. Opt. Soc. Am.* **12**, 1068 (1995).
- 38) M.G. Moharam, Eric B. Grann, Drew A. Pommet and T.K. Gaylord: *J. Opt. Soc. Am.* **12**, 1077 (1995).
- 39) W. Klaus, K. Oka, M. Fujino and K. Kodate: *Opt. Review* **8**, 271 (2001).
- 40) M. Kashiwagi, K. Oka, M. Irisawa, N. Ebizuka, M. Iye, and K. Kodate: *Proceedings of SPIE* **5290**, 168 (2004).

Analysis of Optical Element with Subwavelength Using Rigorous Coupled Wave Theory (RCWA)

Mayumi Nagayoshi¹, Keiko Oka^{1, 3}, Yuki Komai¹,
Werner Klaus² and Kashiko Kodate¹

¹The Graduate School of Science, Division of Mathematical and Material Structure Science

²National Institute of Information and Communications Technology, JAPAN

³Presently with Production Engineering Research Laboratory, Hitachi Ltd.

(Received November 30, 2005)

Abstract: Owing to the progress of semiconductor ultra-fine processing technology such as lithography and etching, the production of very precise, compact and light-weight optical elements with feature sizes less than the incident light wavelength has been attained. It is known for many years that a subwavelength-structured surface, which consists of a surface relief grating with elements of triangular, pyramidal, or conical shape, can work as an antireflection surface. The reflection loss of light is suppressed by applying subwavelength optical elements to optical devices, high luminosity displays etc., which is thought to contribute to the improvement of functionality. Applying directly a relief-type antireflection structure to the substrate of an optical device, gives advantages such as reduction in cost and ease of production compared with standard AR (Anti Reflection) coatings. In this paper, we examine the reflection and transmittance characteristics of anti reflection structure using a 1-dimensional subwavelength optical element. Using rigorous coupled wave analysis (RCWA) suitable for the analysis of optical elements with a period shorter than the incident light wavelength, we analyzed the optical basic characteristics of the subwavelength optical element incident blue-violet semiconductor laser light ($\lambda = 405\text{nm}$) used for recording or read-out of a next-generation optical disk.

Key words: subwavelength grating, nanometer region, antireflection, rigorous coupled wave analysis (RCWA)